



## Hoja de Datos - Tecnología de Control de Contaminantes del Aire

**Nombre de la Tecnología:** Filtro de Tela - Tipo Limpieza con Aire-Invertido  
 - Tipo Limpieza con Aire-Invertido y Mejorada con Bocina Sónica.  
 - Tipo Limpieza con Chorro-Invertido (Referido como Casa de Bolsas)

**Tipo de Tecnología:** Dispositivo de Control - Captura/Disposición

### Contaminantes Aplicables:

Materia Particulada (MP), incluyendo materia particulada de diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micras ( $\mu\text{m}$ ) ( $\text{MP}_{10}$ ), materia particulada de diámetro aerodinámico menor o igual a  $2.5 \mu\text{m}$  ( $\text{MP}_{2.5}$ ) y contaminantes peligrosos del aire (CPA), en forma particulada, tales como la mayoría de los metales (el mercurio es la excepción notable, porque una porción significativa de las emisiones son en forma de vapor elemental).

### Límites de Emisión Alcanzables/Reducción:

Las eficiencias típicas de diseño en equipo nuevo están del 99% al 99.9%. Los equipos viejos existentes tienen un rango de eficiencias de operación actuales del 95% al 99.9%. Varios factores determinan la eficiencia de recolección de los filtros de tela. Estos incluyen la velocidad de filtración del gas, las características de las partículas, las características de la tela y el mecanismo de limpieza. En general, la eficiencia de recolección aumenta al incrementarse la velocidad de filtración y el tamaño de las partículas.

Para una combinación dada de polvo y de diseño del filtro, la concentración de partículas en el efluente de un filtro de tela es casi constante, mientras que es más probable que la eficiencia total varíe con la carga de sustancias particuladas. Por esta razón, los filtros de tela pueden considerarse dispositivos de concentración de salida constante más bien que de equipos de eficiencia constante. La concentración constante del efluente se obtiene porque, en un momento dado, parte de los filtros de tela están siendo limpiados. Como resultado de los mecanismos de limpieza utilizados en los filtros de tela, su eficiencia de recolección está cambiando constantemente. Cada ciclo de limpieza remueve al menos parte de la plasta de polvo y afloja las partículas que permanecen en el filtro. Cuando se reinicia la filtración, la capacidad de filtrado ha sido disminuida porque se ha perdido parte de la plasta de polvo y las partículas sueltas son forzadas a través del filtro por el flujo del gas. A medida que las partículas son capturadas, la eficiencia aumenta hasta el siguiente ciclo de limpieza. Las eficiencias promedio de recolección de los filtros de tela se determinan usualmente por pruebas que abarcan un número de ciclos de limpieza a carga de entrada constante (EPA, 1998a).

**Tipo de Fuente Aplicable:** Punto

### Aplicaciones Industriales Típicas:

Los filtros de tela pueden funcionar muy efectivamente en muchas aplicaciones diferentes. En la Tabla 1 se presentan aplicaciones comunes de los sistemas de filtros de tela con limpieza con aire a la inversa; sin

embargo, los filtro de tela pueden ser utilizados en casi cualquier proceso en el que se genere polvo y pueda ser recolectado y conducido por conductos a una localidad central. Otros tipos de limpieza también pueden ser utilizados en estas aplicaciones. En aplicaciones con materia particulada densa, tales como calderas de termoeléctricas, procesamiento de metales y productos minerales, generalmente se utiliza limpieza por sacudimiento mecánico mejorado con bocina sónica.

**Tabla 1. Aplicaciones Industriales Típicas de los Filtros de Tela Limpiados con Aire a la Inversa ( EPA, 1997; EPA, 1998a)**

<b>Aplicación</b>	<b>Source Classification Code (Código de Clasificación de la Fuente en EE.UU.)</b>
Calderas de Termoeléctricas (Carbón)	1-01-002...003
Calderas Industriales (Carbón, Madera)	1-02-001...003, 1-02-009
Calderas Comerciales/Institucionales (Carbón, Madera)	1-03-001...003, 1-03-009
Procesamiento de Metales No Ferrosos (Primario y Secundario):	
Cobre	3-03-005, 3-04-002
Plomo	3-03-010, 3-04-004
Zinc	3-03-030, 3-04-008
Aluminio	3-03-000...002 3-04-001
Producción de Otros Metales	3-03-011...014 3-04-005...006 3-04-010...022
Procesamiento de Metales Ferrosos	
Coque	3-03-003...004
Producción de Aleaciones de Hierro	3-03-006...007
Producción de Hierro y Acero	3-03-008...009
Fundiciones de Hierro Gris	37683
Fundiciones de Acero	3-04-007,-009
Productos Minerales:	
Manufactura de Cemento	3-05-006...007
Limpieza de Carbón	40241
Explotación y Procesamiento de Piedra	43894
Otro	3-05-003...999
Manufactura de Asfalto	3-05-001...002
Molienda de Granos	39142

**Características de la Emisión:**

- a. **Flujo de Aire:** Las casas de bolsas se separan en dos grupos, estándar y hechas a la medida, que a su vez se separan en tres subgrupos de baja, mediana y alta capacidad. Las casas de bolsas estándar son unidades construidas de fábrica y que se tienen en existencia. Estas pueden

manejar desde menos de 0.10 a más de 50 metros cúbicos estándares por segundo ( $m^3/s$ ) (de “cientos” a más de 100,000 pies cúbicos estándares por minuto (*scfm*)). Las casas de bolsas hechas a la medida son diseñadas para aplicaciones específicas y se construyen de acuerdo a las especificaciones establecidas por el cliente. Estas unidades son generalmente más grandes que las unidades estándar, por ejemplo, desde 50 hasta más de 500  $m^3/s$  (de 100,000 a más de 1,000,000 *scfm*) ( *EPA*, 1998b).

- b. Temperatura:** Típicamente, pueden manejarse en forma rutinaria temperaturas de gases hasta de aproximadamente 260 °C (500 °F), con picos hasta cerca de aproximadamente 290 °C (550 °F), con tela del material apropiado. Se pueden utilizar enfriadores por aspersión o dilución con aire para bajar la temperatura de la corriente del contaminante. Esto evita que se excedan los límites de temperatura de la tela. Al bajar la temperatura, sin embargo, aumenta la humedad de la corriente del contaminante. Por lo tanto, la temperatura mínima de la corriente del contaminante debe permanecer por encima del punto de rocío de cualquier condensable en la corriente. La casa de bolsas y los conductos asociados deben aislarse y posiblemente calentarse si pudiera presentarse condensación ( *EPA*, 1998b).
- c. Carga de Contaminantes:** Las concentraciones típicas de entrada a las casas de bolsas son de 1 a 23 gramos por metro cúbico ( $g/m^3$ ) (0.5 a 10 granos por pie cúbico ( $gr/ft^3$ )), pero en casos extremos, las condiciones de entrada pueden variar entre 0.1 a más de 230  $g/m^3$  (de 0.05 a más de 100  $gr/ft^3$ ) ( *EPA*, 1998b).
- d. Otras Consideraciones:** El contenido de humedad y de corrosivos son las características principales de la corriente gaseosa que requieren consideraciones de diseño. Los filtros de tela estándar se pueden usar a presión o al vacío, perosolamente dentro del rango de aproximadamente  $\pm 640$  mm de columna de agua (25 pulgadas de columna de agua). Se ha demostrado que las casas de bolsas bien diseñadas y operadas son capaces de reducir las emisiones totales de partículas a menos de 0.05  $g/m^3$  (0.010  $gr/ft^3$ ), y en un número de casos, hasta tan bajo como de 0.002 a 0.011  $g/m^3$  (de 0.001 a 0.005  $gr/ft^3$ ) ( *AWMA*, 1992).

### Requisitos de Pre-Tratamiento de las Emisiones:

Debido a la amplia variedad de tipos de filtros disponibles al diseñador, por lo general no se requiere dar tratamiento previo para modificar la temperatura de entrada de la corriente del contaminante. Sin embargo, en algunas aplicaciones a altas temperaturas, el costo de las bolsas resistentes a las altas temperaturas debe de ponderarse contra el costo de disminuir la temperatura de entrada por medio de enfriadores por aspersión o con dilución con aire ( *EPA*, 1998b). Cuando gran parte de la carga del contaminante consiste de partículas relativamente grandes, se pueden utilizar recolectores mecánicos tales como los ciclones, para reducir la carga sobre el filtro de tela, especialmente a altas concentraciones de entrada ( *EPA*, 1998b).

### Información de Costos:

A continuación se presentan costos estimados para filtros de tela tipo limpieza con aire-invertido; tipo limpieza con chorro-invertido mejorada con bocina sónica; y para filtros de tela tipo limpieza con aire-invertido (referido como casa de bolsas). Los costos están expresados en dólares de 2002 para los filtros de tela tipo limpieza con chorro-invertido mejorada con bocina sónica. Para las estimaciones de costos, se supone un diseño convencional bajo condiciones típicas de operación. En los costos no se incluye equipo auxiliar tal como ventiladores y conductos.

Los costos para los sistemas limpiados con aire invertido, son elaborados utilizando hojas de cálculo de la *EPA* para estimación de costos de filtros de tela ( *EPA*, 1998b). Los costos estimados para mejoramiento

con bocina sónica, se obtienen de cotizaciones del fabricante, dadas en el Manual de Costos de Control de la OAQPS ( EPA, 1998b). Las bocinas sónicas son presentadas como un costo incrementado al costo de capital para un sistema limpiado con aire invertido. El costo de operación y mantenimiento (O y M), para sistemas limpiados con aire a la inversa, se reduce de 1 a 3 % con mejoramiento con bocina sónica. El costo de capital para las casas de bolsas de tela limpiadas con chorro invertido, se basa en cotización del fabricante ( Carrington, 2000). Esta cotización incluye solo el costo de equipo comprado de la casa de bolsa. No se estimaron los costos de O y M, los costos anualizados ni la eficiencia de costo para chorro invertido. En general, el chorro invertido tiene costos de capital y de O y M más altos que el aire invertido, debido a su complejidad (vea la Sección 10, Teoría de Operación).

Los costos están dictados principalmente por la proporción de flujo volumétrico de la corriente del contaminante y por la carga del contaminante. En general, una unidad pequeña controlando una carga baja de contaminante, no será tan efectiva en costo como una unidad grande controlando una carga alta de contaminante. Los costos presentados son para proporción de flujo de 470 m<sup>3</sup>/s (1,000,000 scfm) y 1.0 m<sup>3</sup>/s (2,000 scfm), respectivamente y para una carga del contaminante de 9 g/m<sup>3</sup> (4.0 gr/ft<sup>3</sup>). Para chorro invertido, el costo de capital presentado es para una casa de bolsas de 378,000 m<sup>3</sup>/s (800,000 scfm).

Los contaminantes que requieren un nivel de control inusualmente alto o que requieren que las bolsas de tela o la unidad en sí, sean construidas de materiales especiales tales como Gore-Tex o acero inoxidable, incrementarán los costos del sistema ( EPA, 1998b). Los costos adicionales para controlar corrientes más complejas de contaminantes, no están reflejados en las estimaciones dadas más abajo. Para estos tipos de sistemas, el costo de capital podría incrementarse tanto como 40% y el costo de O y M podría incrementarse tanto como 5%.

- a. **Costo de Capital:** \$19,000 a \$180,000 por m<sup>3</sup>/s (\$9 a \$85 por scfm)  
\$1,000 a \$1,300 por m<sup>3</sup>/s (\$0.51 a \$0.61 por scfm), costo adicional por mejoramiento con bocinas sónicas  
\$2,000 a \$4,200 m<sup>3</sup>/s (\$1 a \$2 por scfm), costo de equipo comprado de chorro a la inversa
- b. **Costo de O y M:** \$14,000 a \$58,000 por m<sup>3</sup>/s (\$6 a \$27 por scfm), anualmente
- c. **Costo Anualizado:** \$16,000 a \$106,000 por m<sup>3</sup>/s (\$8 a \$50 por scfm), anualmente
- d. **Eficiencia de Costos:** \$58 a \$372 por tonelada métrica (\$53 a \$337 por tonelada corta).

### Teoría de Operación:

En un filtro de tela, el gas residual se pasa por una tela de tejido apretado o de fieltro, causando que la MP en el gas sea recolectada en la tela por tamizado y por otros mecanismos. Los filtros de tela pueden ser en forma de hojas, cartuchos o bolsas, con un número de unidades individuales de filtros de tela encasillados en grupo. Las bolsas son el tipo más común de filtro de tela. La plasta de polvo que se forma sobre el filtro por la MP recolectada puede aumentar la eficiencia de recolección significativamente. A los filtros de tela se les conoce frecuentemente como "casas de bolsas" porque la tela está configurada por lo general en bolsas cilíndricas. Las bolsas pueden ser de 6 a 9 m de largo (20 a 30 pies) y de 12.7 a 30.5 cm (5 a 12 pulgadas) de diámetro. Se colocan grupos de bolsas en compartimientos aislables para permitir la limpieza de las bolsas o el reemplazo de algunas de ellas sin tener que interrumpir todo el filtro de tela. ( STAPPA/ALAPCO, 1996).

Las condiciones de operación son factores importantes para la selección de la tela. Algunas telas (por ejemplo, poliolefinas, de nylon, acrílicos, poliésteres), son útiles solamente a temperaturas relativamente

bajas de 95 a 150 °C (200 a 300°F). Para corrientes de gas residual a altas temperaturas, deben utilizarse telas más estables térmicamente, tales como la fibra de vidrio, el Teflón o el *Nomex*. ( *STAPPA/ALAPCO*, 1996).

La aplicación práctica de los filtros de tela requiere el uso de una gran superficie de tela para evitar una inaceptable caída de presión a través de la tela. El tamaño de la casa de bolsas para una unidad en particular se determina por la selección de la relación de aire-a-tela o la relación de flujo volumétrico de aire a la superficie del tejido. La selección de la relación de aire-a-tela depende de la carga y características de la materia particulada y del método de limpieza utilizado. Una carga alta de partículas requerirá el uso de una casa de bolsas más grande para evitar la formación de una plasta de polvo muy pesada, lo que resultaría en una caída de presión excesiva. Por ejemplo, una casa de bolsa para una caldera de termoeléctrica de 250 MW puede tener 5,000 bolsas individuales, con una superficie total de tela cercana a los 46,500 m<sup>2</sup> (500,000 pies cuadrados) ( *ICAC*, 1999).

El funcionamiento de las casas de bolsas está determinado entre otros factores, por la tela seleccionada, la frecuencia y el método de limpieza y las características del particulado. Pueden seleccionarse telas para que intercepten una fracción mayor del particulado y algunas telas están recubiertas con una membrana con aperturas muy finas para mejorar la remoción de las partículas sub-micrométricas. Estas telas suelen ser más caras. La intensidad y la frecuencia de la limpieza son variables importantes que determinan la eficiencia de remoción. Debido a que la plasta de polvo puede proporcionar una fracción significativa de la capacidad de remoción de partículas finas de una tela, la limpieza demasiado frecuente o demasiado intensa disminuirá la eficiencia de remoción. Por otra parte, si la remoción es demasiado infrecuente o inefectiva, entonces la caída de presión de la casa de bolsas llegará a ser muy alta ( *ICAC*, 1999).

La limpieza con aire invertido es un método popular de limpieza de filtros de tela que ha sido utilizado extensamente y siendo mejorado a través de los años. Es un mecanismo limpiador más ligero que el sacudimiento mecánico pero a veces menos efectivo. La mayoría de los filtros de tela con aire invertido operan de una manera similar a los filtros de tela limpiados por sacudimiento. Típicamente, las bolsas están abiertas en el fondo, cerradas en la parte superior y el gas fluye de la parte interior a la parte exterior de las bolsas, el polvo siendo capturado en el interior. Sin embargo, algunos diseños con aire invertido recolectan el polvo en el exterior de las bolsas. En cualquiera de los diseños, la limpieza con aire invertido se lleva a cabo forzando aire limpio a través de los filtros en la dirección opuesta al flujo del gas empolvado. El cambio de dirección del flujo del gas causa que la bolsa se doble y quiebre la plasta de polvo. En la recolección de la plasta interna, se permite que las bolsas se desintegren hasta cierto grado durante la limpieza con aire invertido. Por lo general, se evita que las bolsas se desintegren por completo mediante algún tipo de soporte, tal como anillos que son cosidas a las bolsas. Este soporte permite que la plasta de polvo caiga de las bolsas hacia la tolva. El desprendimiento de la plasta de polvo es propiciado también por el flujo invertido del gas. Debido a que las telas de fieltro retienen el polvo más que las telas tejidas, y por lo tanto, son más difíciles de limpiar, las felpas no son usadas comúnmente en sistemas con aire invertido ( *EPA*, 1998a).

Existen varios métodos para invertir el flujo a través de los filtros. Tal como con los filtros de tela limpiados con un sacudidor mecánico, el enfoque más común es tener compartimientos separados dentro del filtro de tela, de manera que cada compartimiento pueda ser aislado y limpiado por separado mientras los otros compartimientos continúan tratando el gas cargado de polvo. Un método para proporcionar el flujo invertido del aire es por medio del uso de un ventilador secundario o de gas limpio de los otros compartimientos. La limpieza solo con aire invertido es utilizada únicamente en casos en los que el polvo se desprende fácilmente de la tela. En muchos casos, el aire invertido se utiliza en conjunto con sacudimiento, pulsos o bocinas sónicas ( *EPA*, 1998a).

Las bocinas sónicas se utilizan cada vez más para mejorar la eficiencia de recolección de los filtros de tela limpiados por sacudimiento mecánico o con aire invertido (AWMA, 1992). Las bocinas sónicas utilizan aire comprimido para hacer vibrar un diafragma metálico, produciendo una onda sonora de baja frecuencia en la campana de la bocina. El número de bocinas que son requeridas está determinado por la superficie de la tela y el número de compartimientos de la casa de bolsas. Típicamente, son requeridas de 1 a 4 bocinas por compartimiento operando de 150 a 200 hertz. El aire comprimido para las bocinas se suministra de 275 a 620 kilo-Pascales (kPa) (40 a 90 libras por pulgada cuadrada manométricas (*psig*)). Las bocinas sónicas se activan de 10 a 30 segundos aproximadamente durante cada ciclo de limpieza (Carr, 1984).

La limpieza con bocinas sónicas reduce significativamente la carga residual de polvo en las bolsas. Esto disminuye de 20 a 60% la caída de presión a través del filtro de tela. También aminora el esfuerzo mecánico que se requiere para limpiar las bolsas, resultando en una vida de operación más larga (Carr, 1984). Tal como se mencionó previamente, esto puede reducir el costo de O y M de 1 a 3% anualmente. Los compartimientos de las casas de bolsas son fácilmente reconvertidos a bocinas sónicas (EPA, 1998a).

La limpieza con chorro a la inversa es un método desarrollado en los 50's para proporcionar una mejor remoción del polvo residual. En este método, el aire a la inversa se conecta por tubería a un anillo alrededor de la bolsa, que cuenta con una ranura angosta. El aire fluye por la ranura, creando una corriente de aire de alta velocidad que flexiona la bolsa en ese punto. El anillo está montado en un transportador accionado por un sistema de motor y cable, que sube y baja por la bolsa. Este método proporciona una limpieza excelente del polvo residual. Debido a su complejidad, sin embargo, los requerimientos de mantenimiento son muy altos. Adicionalmente, el golpe del aire en las bolsas resulta en mayor desgaste (Billings, 1970). La aplicación de limpieza con chorro a la inversa ha ido disminuyendo (EPA, 1998a).

#### **Ventajas:**

En general, los filtros de tela proporcionan altas eficiencias de recolección tanto para materia particulada gruesas como para la de tamaño fino (sub-micras). Son relativamente insensibles a las fluctuaciones en las condiciones de la corriente de gas. En el caso de filtros con limpieza continua, la eficiencia y la caída de presión permanecen relativamente invariables con fuertes cambios en la carga de entrada de polvo. El aire de salida del filtro es bastante limpio y en muchos casos puede ser re-circulado dentro de la planta (para la conservación de energía). El material recolectado se recolecta seco para su procesamiento o disposición subsecuentes. Normalmente, no son problemas la corrosión ni la oxidación de sus componentes. Su operación es relativamente simple. A diferencia de los precipitadores electrostáticos, los sistemas de filtros de tela no requieren del uso de alto voltaje, por lo tanto, el mantenimiento se simplifica y podría recolectarse el polvo inflamable con el cuidado apropiado. El uso de ayudas selectas de filtración granulares o fibrosas (pre-impregnado), permite la recolección con alta eficiencia de contaminantes gaseosos y humos de tamaños menores de una micra. Los recolectores están disponibles en un gran número de configuraciones, resultando en un rango de dimensiones y de localizaciones de las bridas de entrada y salida, para cumplir con los requisitos de instalación (AWMA, 1992).

#### **Desventajas:**

Para temperaturas muy por encima de los 290 °C (550 °F) se requiere el uso de telas metálicas o de mineral refractario especial, las cuales pueden ser caras. Para ciertos tipos de polvo se pueden requerir telas tratadas para reducir la percolación de los polvos o, en otros casos, para facilitar la remoción de los polvos recolectados. Las concentraciones de algunos polvos en el colector, aproximadamente 50 g/m<sup>3</sup> (22 gr/ft<sup>3</sup>), pueden representar un peligro de fuego o explosión, si se produce una llama o una chispa accidentalmente. Las telas pueden arder si se recolecta polvo rápidamente oxidable. Los filtros de tela tienen requerimientos altos de mantenimiento (por ejemplo, reemplazo periódico de las bolsas). La vida de la tela puede ser acortada a temperaturas elevadas y en presencia de constituyentes gaseosos o particulados ácidos o

alcalinos. No pueden ser operados en ambientes húmedos; los materiales higroscópicos, la condensación de humedad o los materiales adhesivos espesos pueden causar costras o tapar la tela o requerir aditivos especiales. Se pudiera requerir protección respiratoria para el personal de mantenimiento al reemplazar la tela. Se requiere una caída de presión mediana, típicamente en el rango de 100 a 250 mm de columna de agua (4 a 10 pulgadas de columna de agua) (AWMA, 1992).

### **Otras Consideraciones:**

Los filtros de tela son útiles para recolectar partículas con resistividades ya sea demasiado bajas o demasiado altas como para ser recolectadas con precipitadores electrostáticos. Por lo tanto, los filtros de tela pueden ser buenos candidatos para recolectar las cenizas volantes de los carbones bajos en azufre o las cenizas volantes que contengan niveles altos de carbón sin quemar, las cuales tienen alta y baja resistividad respectivamente y son por lo tanto, relativamente difíciles de recolectar con precipitadores electrostáticos (STAPPA/ALAPCO, 1996).

### **Referencias:**

AWMA, 1992. *Air & Waste Management Association, Air Pollution Engineering Manual, Van Nostrand Reinhold, New York.*

Billings, 1970. *Billings, Charles, et al, Handbook of Fabric Filter Technology Volume I: Fabric Filter Systems Study, GCA Corp., Bedford MA, December.*

Carr, 1984. *Carr, R. C. and W. B. Smith, Fabric Filter Technology for Utility Coal-Fired Power Plants, Part V: Development and Evaluation of Bag Cleaning Methods in Utility Baghouses, J. Air Pollution Control Assoc., 34(5):584, May.*

Carrington, 2000. *Personal communication from W. Edson of Carrington Engineering Sales Co. to P. Hemmer of The Pechan-Avanti Group, Division of E.H. Pechan and Assoc., Inc, January 21.*

EPA, 1997. *U.S. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, "Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume I, Fifth Edition, Research Triangle Park, NC., October.*

EPA, 1998a. *U.S. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, "Stationary Source Control Techniques Document for Fine Particulate Matter," EPA-452/R-97-001, Research Triangle Park, NC., October.*

EPA, 1998b. *U.S. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, "OAQPS Control Cost Manual," Fifth Edition, Chapter 5, EPA 453/B-96-001, Research Triangle Park, NC. December.*

ICAC, 1999. *Institute of Clean Air Companies internet web page [www.icac.com](http://www.icac.com), Control Technology Information - Fabric Filters, page last updated January 11, 1999.*

STAPPA/ALAPCO, 1996. *State and Territorial Air Pollution Program Administrators and Association of Local Air Pollution Control Officials, "Controlling Particulate Matter Under the Clean Air Act: A Menu of Options," July.*